

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-003446

(43) Date of publication of application : 07.01.2000

(51)Int.Cl.

G08T	7/00
G06T	1/00

(21) Application number : 10-167351  
(71) Applicant : RICOH CO LTD

(22)Date of filing: 15.06.1998 (72)Inventor: NISHIDA HIROFUMI

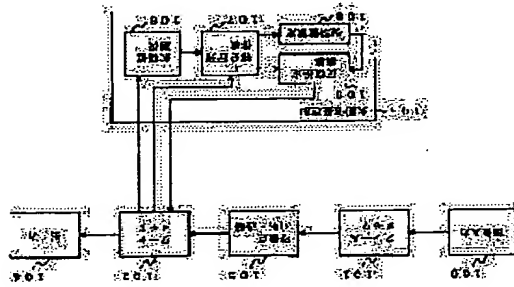
(54) MISSING VALUE ESTIMATING METHOD, THREE -DIMENSIONAL DATA INPUT DEVICE AND RECORDING MEDIUM

**(57)Abstract:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To highly accurately

estimate the coordinate value of a feature point missed by shielding.

**SOLUTION:** A feature point extraction/tracing part 102 generates and stores a matrix W arraying the coordinates of respective featured points on each image frame in a work memory 103. In a missing value estimation part 105, a missing value selection part 106 selects one missing value in the matrix W, a partial matrix preparing part 107 prepares a partial matrix out of the matrix in order to estimate the missing value and an initial value setting part 108 sets up the initial value of the missing value. A repeated estimation operation part 109 repeats estimation operation for applying a factor decomposition method to the partial matrix by using the initial value as a missing value, applying the factor decomposition method again by using the obtained estimation value as a missing value to correct the estimation value and interpolates the missing value of the matrix W by using missing values of the matrix W are successively interpolated.



interpolates the missing value of the matrix  $W$  by using a final estimation value. Thus all missing values of the matrix  $W$  are successively interpolated one by one.

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

特開2000-3446  
(P2000-3446A)  
(43)公開日 平成12年1月7日(2000

(51)Int. Cl. 7

G06T 7/00

識別記号

506

15/62 415

テ-マ-ト(参考)

**SB057**

審査請求 未請求 請求項の数6

(全14頁)

(21)出願番号

(21)出願番号 特願平10-167351

(22)出版日 平成10年6月15日(1998.6.15)

(71)出願人 000006747

株式会社リコー

東京都大田区中馬込1丁目3番6号

(72) 免明者 西田 広文

東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社

社内コミュニケーション

(74)代理人 100073760

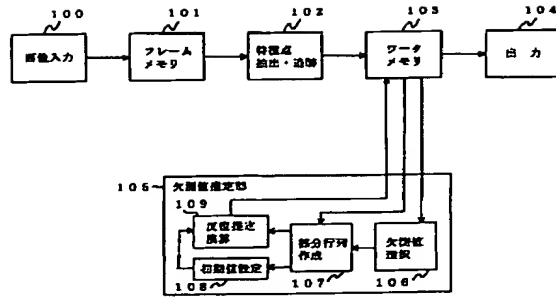
弁理士 鈴木 誠 (外1名)

(54)【発明の名称】欠測値推定方法、三次元データ入力装置、及び、記録媒体

(57)【要約】

【課題】遮蔽により欠落した特徴点の座標値を高精度に推定する。

【解決手段】特徴点抽出・選別部102によって、各特徴点の各画像フレーム上での特徴を並べた行列Wがワークメモリ103上に生成される。欠測値判定部105において、欠測値選択部106で行列Wの1つの欠測値を選択し、その欠測値を確定するための行列Wの部分行列を部分行列作成部107で作成し、初期値設定部108で欠測値の初期値を設定する。反復値判定部109は初期値を欠測値として用い部分行列に因子分解法を用い、得られた推定値を欠測値として用いて因子分解法を再び適用し推定値を修正する欠測値を反復し、最終的な欠測値を用いて行列Wの欠測値を補完する。行列Wの全ての欠測値が1つずつ順次補完される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 一連の時系列画像に対し複数の特徴点の追跡を行うことによりメモリ上に生成された、各特徴点の各画像フレーム上での座標値を並べた行列中の欠測値を推定する方法であって、

該メモリ上の行列から欠測値を1つ選択する第1のステップと、該第1のステップで選択された欠測値を推定するための、該メモリ上の行列の部分行列を作成する第2のステップと、該第2のステップで作成された部分行列に対し、その欠測値として初期値を用い因子分解法を用いて欠測値の推定値を求め、求めた推定値を修正する第3のステップと、該第3のステップで推定された最終的な推定値を用いて該メモリ上の行列の対応する欠測値を得る第4のステップとを含ま、該第1のステップから該第4のステップまでの処理を該メモリ上の行列の全ての欠測値が推定値を用いて補完されるまで繰り返すことを特徴とする欠測値推定方法。

【請求項2】 該第3ステップにおいて、該第2ステップで作成された部分行列の、欠測値を含む行又は列を除いた部分行列に因子分解法を適用することにより該初期値を求めることを特徴とする請求項1記載の欠測値推定方法。

【請求項3】 一連の時系列画像を入力する第1手段と、該第1手段により入力された一連の時系列画像に対し複数の特徴点の追跡を行って、各特徴点の各画像フレーム上での座標値を並べた行列を生成する第2手段と、該第2手段により生成された行列を記憶する第3手段と、該第3手段に記憶されている行列から、その欠測値を推定するための部分行列を作成し、該部分行列に対し、その欠測値として初期値を用い因子分解法を用いて欠測値の推定値を求め、求めた推定値を修正する第4手段と、該第4手段によって全ての欠測値が補完された後の行列を該第3手段より外部へ出力する第5手段とを具備する三次元データ入力装置。

【請求項4】 該第4手段は、該第3手段に記憶されている行列から推定対象の欠測値を選択する第6手段と、該第6手段により選択された欠測値を推定するための該行列の部分行列を作成する第7手段と、該第7手段により作成された部分行列の欠測値を含む行又は列を除いた部分行列に因子分解法を適用することにより欠測値に対する初期値を求める第8手段と、該第7手段により作成された部分行列に対し、その欠測値として該初期値を用い因子分解法を適用して欠測値の推定値を求め、求めた推定値を修正する第9手段とを具備する三次元データ入力装置。

【請求項5】 一連の時系列画像に対し複数の特徴点の追跡を行うことによりメモリ上に生成された、各特徴点の各画像フレーム上での座標値を並べた行列中の欠測値を推定する方法であって、

的に得られた推定値を用いて該第3手段に記憶されている行列の欠測値を補完する第9手段とからなることを特徴とする請求項3記載の三次元データ入力装置。

【請求項5】 一連の時系列画像に対し複数の特徴点の追跡を行うことにより、各特徴点の各画像フレーム上での座標値を並べた行列をメモリ上に生成する第1のステップと、該メモリ上の行列から欠測値を1つ選択する第2のステップと、該第2のステップで選択された欠測値を推定するための、該メモリ上の行列の部分行列を作成する第3のステップと、該第3のステップで作成された部分行列に対し、その欠測値として初期値を用い因子分解法を用いて欠測値の推定値を求め、求めた推定値を修正する第4のステップと、該第4のステップで推定された最終的な推定値を用いて該メモリ上の行列の対応する欠測値を得る第5のステップとを含ま、該第1のステップから該第5のステップまでの処理を該メモリ上の行列の全ての欠測値が推定値を用いて補完されるまで繰り返すことを特徴とするコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【請求項6】 一連の時系列画像に対し複数の特徴点の追跡を行うことにより、各特徴点の各画像フレーム上での座標値を並べた行列をメモリ上に生成する第1のステップと、該メモリ上の行列から欠測値を1つ選択する第2のステップと、該第2のステップで選択された欠測値を推定するための、該メモリ上の行列の部分行列を作成する第3のステップと、該第3のステップで作成された部分行列に対し、その欠測値として初期値を用い因子分解法を用いて欠測値の推定値を求め、求めた推定値を修正する第4のステップと、該第4のステップで推定された最終的な推定値を用いて欠測値の推定値を求め、求めた推定値を修正する第5のステップとを含ま、該第1のステップから該第5のステップまでの処理を該メモリ上の行列の全ての欠測値が推定値を用いて補完されるまで繰り返すことを特徴とするコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【請求項7】 一連の時系列画像に対し複数の特徴点の追跡を行うことによりメモリ上に生成された、各特徴点の各画像フレーム上での座標値を並べた行列中の欠測値を推定する方法であって、

該メモリ上の行列から欠測値を1つ選択する第1のステップと、該第1のステップで選択された欠測値を推定するための、該メモリ上の行列の部分行列を作成する第2のステップと、該第2のステップで作成された部分行列に対し、その欠測値として初期値を用い因子分解法を用いて欠測値の推定値を求め、求めた推定値を修正する第3のステップと、該第3のステップで推定された最終的な推定値を用いて欠測値の推定値を求め、求めた推定値を修正する第4のステップとを含ま、該第1のステップから該第4のステップまでの処理を該メモリ上の行列の全ての欠測値が推定値を用いて補完されるまで繰り返すことを特徴とするコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

り、その応用分野、例えばロボットビジョン、自動走行車、ビデオカメラを使った三次元形状入力、画像符号化、三次元モデリングなどでも大きな関心が持たれている。

【0003】時系列の三次元動画画像からの三次元情報の抽出問題において、いわゆる「運動からの構造推定 (Structure From Motion)」という方法では、運動 (Motion) 距離 (Depth) 形状 (Shape) という手順にしたがって、まずカメラの運動を求め、次に物体上の特徴点のカメラ中心からの距離を求めることにより、形状を推定するが普通である。しかし、時系列動画画像では、各フレーム間で対応点の動きが小さいので、運動を平行運動か回転運動かによって特定するのは不可能に近い。結局、求められた実行き (Depth) の解が不可能になり、形状情報の推定が上手くいかない。逆に時系列のサンプル間隔を大きくとった場合、すなわち、各フレーム間の対応点の動きが大きい場合には、特徴点の対応付けの信頼性が低下してしまう。

【0004】実行きを計算せずに動きと形状を同時に計算することによって解を安定させる方法として、Tomasi と Kanade により提案された「因子分解法 (factorization)」がある (C. Tomasi and T. Kanade, "Shape and motion from image stream under orthography: A factorization method," International Journal of Computer Vision, vol. 9, 1992, pp. 137-154)。この方法は、正射影モデルに基づいて線形形式化を行い、数値計算的に安定な行列の特異値分解を用いるため、他の手法に比べて、解が極めて安定であることが特徴である。

【0005】さらに、定式化の線形性を保ちながら実用カメラモデルである中心射影により近い擬似中心射影 (paraperspective) モデルを利用する因子分解法が, Poonan and Kanade により提案された (C. J. Poonan and T. Kanade, "A paraperspective factorization method for

$$u_{fp} = m_f' \cdot s_p + x_f$$

$$v_{fp} = n_f' \cdot s_p + y_f$$

【0011】ただし、

$$z_f = \frac{(-t_f) \cdot k_f}{x_f} \cdot \frac{x_f}{z_f} = \frac{(-t_f) \cdot l_f}{x_f} \cdot \frac{x_f}{z_f}$$

$$m_f = \frac{l_f - x_f \cdot k_f}{x_f}, n_f = \frac{l_f - y_f \cdot k_f}{x_f}$$

【0013】ここで、 $z_f$  はカメラ中心1から仮想画像面3までの距離である。後述のように、擬似中心射影モデルは、中心射影を  $|s_p|/z_f \neq 0$  の仮定のもとで近似したものである。なお、図1において、 $(U_{rs}, V_{rs})$  は、特徴点pを画像面2へ中心射影したときの投影点の座標である。

\*shape and motion recovery," 1988 Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 19, no. 3, pp. 206-218)。

【0006】ここで、この擬似中心射影モデルと、それを利用する因子分解法について説明する。

【0007】まず擬似中心射影モデルについて述べる。図1は擬似中心射影モデルの説明図である。図1において、1はカメラ中心、2はカメラ中心1から焦点距離だけ離れた画像面である。Cは、カメラにより撮影された物体の特徴点 (その一部がマークで表されてある) の投影点 (物体の重心) である。3は重心Cを通り画像面2に平行な仮想画像面である。ワールド座標系の原点を重心Cに採り、特徴点pのワールド座標系での三次元座標を  $s_p \in R^3$  とする。

【0008】時系列画像中のある画像フレームfに関する、カメラ中心1の座標を  $m_i$ 、画像面2の二次元ローカル座標系の基底ベクトルを  $i_r, j_r \in R^2$  (ただし、 $\|i_r\| = \|j_r\| = 1, i_r \times j_r = 0$ )、カメラの光軸方向を  $k_r = i_r \times j_r \in R^3$  とする。画像フレームfにおいて、画像面2と、ベクトル  $k_r$  の交点  $O_f$  を原点に採り、単位基底ベクトルの組  $(i_r, j_r)$  により、二次元ローカル座標系  $\Sigma_f = (O_f; i_r, j_r)$  を定義する。

【0009】擬似中心射影では、特徴点pの画像面2への投影は次の2ステップで行われる。第1のステップで、特徴点pを仮想平面3に投影するが、この投影はカメラ中心1から重心Cに向かう直線と平行に行う。そして第2のステップで、仮想平面3に投影された点を画像面2に中心射影する。特徴点pの画像面2への投影点の座標を  $(u_r, v_r)$  とする。このとき、 $(u_r, v_r)$  は次のように表現される。

$$u_r = \frac{(-t_f) \cdot k_f}{x_f} \cdot \frac{x_f}{z_f} = \frac{(-t_f) \cdot l_f}{x_f}$$

$$v_r = \frac{(-t_f) \cdot k_f}{x_f} \cdot \frac{x_f}{z_f} = \frac{(-t_f) \cdot l_f}{x_f}$$

【0010】

【数1】

$$u_r = \frac{(-t_f) \cdot k_f}{x_f} \cdot \frac{x_f}{z_f} = \frac{(-t_f) \cdot l_f}{x_f}$$

$$v_r = \frac{(-t_f) \cdot k_f}{x_f} \cdot \frac{x_f}{z_f} = \frac{(-t_f) \cdot l_f}{x_f}$$

【0014】次に、因子分解法について説明する。因子分解法においては、F枚の画像フレームにわたってP個の特徴点を追跡し、その結果として、投影点の画像面2上の二次元ローカル座標  $(u_{rs}, v_{rs})$ 、 $f=1, 2, \dots, F$ ;  $p=1, 2, \dots, P$  を並べた  $2F \times P$  の行列Wを定義する。

(4)

\* \* 【数3】

$$W = \begin{bmatrix} u_{11} & \dots & u_{1P} \\ \vdots & & \vdots \\ u_{P1} & \dots & u_{PP} \\ \vdots & & \vdots \\ v_{11} & \dots & v_{1P} \\ \vdots & & \vdots \\ v_{P1} & \dots & v_{PP} \end{bmatrix} \quad (3)$$

※ 【0016】この行列Wの上半分は特徴点のx座標値u

i, 下半分は特徴点のy座標値v<sub>i</sub>をそれぞれ表す。行 10 の平均値x<sub>0</sub>とy座標値の平均値y<sub>0</sub>

【0018】

【数4】

※

$$\frac{1}{P} \sum_{p=1}^P u_{p0} = x_0, \quad \frac{1}{P} \sum_{p=1}^P v_{p0} = y_0 \quad (4)$$

★ 【0020】

【数5】

★

$$W^* = W - \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_P \\ y_1 \\ \vdots \\ y_P \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

★うに分解できる。

【0023】

【数6】

(8)

$$W^* (P \times P) = R (P \times P) S (P \times P) \quad (8)$$

30◆きる。このような計測行列に対する分解法を「因子分解

法」と呼ぶ。

【0026】因子分解法では、計測行列の因子分解によ

りカメラの運動と物体の形状の復元を行うが、その基本

アルゴリズムについて次に述べる。

【0027】計測行列の因子分解には、行列の特異値分

解の手法が用いられる。すなわち、特異値分解を用い

て、計測行列W\*は次のように3つの行列の積に分解で

きる。

【0028】

【数7】

(7)

$$W^* = U \Sigma V^T$$

★か、0に近くなる。σ<sub>i</sub>以降を0であるとして計測行列

を分解すると、

【0030】

【数8】

(8)

$$W^* = U \Sigma V^T$$

【0031】である。ここで、

【0032】

50

(5)

7

$$\hat{U}, \hat{\Sigma}, \hat{V} \quad * \times P \text{である。そこで、} \quad (5)$$

【0034】

【数9】

(9)

$$\hat{U} = \hat{R}, \quad \hat{\Sigma} \hat{V} = \hat{S}$$

【0035】とおけば、一つの分解結果

【0036】

※

※ 【数10】

(10)

$$W^* = \hat{R} \hat{S}$$

【0037】が得られる。しかし、(10)式の分解は 10★ 【0038】

一意ではない。実際、任意の正則行列Qにより、★ 【数11】

(11)

$$W^* = \hat{R} \hat{S} = \hat{R} Q Q^{-1} \hat{S} = (\hat{R} Q) (Q^{-1} \hat{S}) = \tilde{R} \tilde{S} = \tilde{W}^* \quad (11)$$

【0039】のように無数の解が存在する。

★ 【0041】

【数12】

(12)

f=1,2,...,P

$$\frac{\|m_f^T\|^2}{f_x^2 + x_f^2} = \frac{\|n_f^T\|^2}{f_y^2 + y_f^2} \left( \frac{1}{x_f^2} \right) \quad (12)$$

◆ 【数13】

(13)

f=1,2,...,P

$$m_f^T n_f = \frac{x_f y_f}{2} \left\{ \frac{\|m_f^T\|^2}{f_x^2 + x_f^2} + \frac{\|n_f^T\|^2}{f_y^2 + y_f^2} \right\} \quad (13)$$

【0043】

$$\|m_f^T\| = 1$$

\* \* 【数14】

(14)

【0044】この拘束条件を満たすQを求め、このQに

基つて

【0045】

【外2】

$$R = \hat{R} Q, \quad S = Q^{-1} \hat{S}$$

【0046】とし、

【0047】

【外3】

$$\tilde{W} = R S$$

【0048】と一様に分解する。Rは2F×3の行列で

カメラの姿勢を示す。Sは3×Pの行列で各特徴点の三

次元座標値を示す。詳細は前述のPoolmanとKanadeの文

献に趣く、行列Rすなわち{(m<sub>i</sub>, n<sub>i</sub>): i=1,2,...,P}と、(4)式で計算される(x<sub>i</sub>, y<sub>i</sub>)とから、カメラの方向{(i, j, k<sub>i</sub>): i=1,2,...,P}を求めることができ、ついで(12)式からZ<sub>i</sub>を、(2)式からカメラの位置z<sub>i</sub>を計算できる。

【0049】

【發明が解決しようとする課題】正射影モデル、類似中

心射影モデルのいずれかを利用して、因子分解法

において、選ばれたすべての特徴点が、画像のすべ

ての画像フレームにわたって追跡できることを前提とし

ている。すなわち、最初の画像フレームで見えている特

徴点が途中で隠れて見えなくなったり、途中の画像フレ

50

ームで新しい特徴点が導入されたりしないことを仮定し  
ている。しかしながら、カメラが物体の周りを回ります  
ような状況では、最初の画像フレームで見えている特  
徴点の一部は途中で物体に遮蔽されてしまうので、その  
ような仮定は、長時間にわたって撮影された動画には  
適用できない。

【0050】この問題への対処として、前述のTomasiと

Kanadeは、特定の画像フレーム上で隠れて見えないよう

な特徴点について、その画像面での投影位置、すなわ

ち、物体が透明な場合、その特徴点が画像面上で隠測

されるべき位置を推定する方法を提案している。この方

法では、より詳しく後述するように、推定対象の近傍の

画像フレームの部分集合と特徴点の部分集合に因子分解

法を適用し、それにより得られた画像フレームと特徴点

の位置情報の部分推定を使って、隠れて見えない特徴点

の画像面での投影位置を最小二乗近似によって求める。

しかし、この方法で得られる推定値は、本来の投影条件

である中心射影によるものではなく、因子分解法で仮定

する投影モデル（正射影や擬似中心射影）により投影さ

れたものになってしまう。そのため、推定値が真像の力

メラモデルである中心射影による投影位置から大きくず

れて誤差が大きくなることがある。

【0051】なお、因子分解法に限らず、動画像から初

体の三次元形状やカメラの運動を推定する方法では、一

般的に、特徴点を全ての画像フレーム上で対応付けること  
が基本であり、上に述べたように見えない特徴点  
に対する投影位置の推定を行う必要がある。

【0052】よって、本発明の目的は、一連の時系列画  
像に対し複数の特徴点の追跡を行った結果として得られ  
る、各特徴点の各画像フレーム上での座標値を並べた行  
列において、特徴点の追跡により欠落した座標値（欠測  
値）を高解像度で推定できるようにし、以て、因子分解法  
により物体形状及びカメラ運動の高解像度復元を可能に  
することにある。

【0053】

【課題を解決するための手段】請求項1記載の本発明に  
よれば、一連の時系列画像に対し複数の特徴点の追跡を  
行うことによりメモリ上に生成された、各特徴点の各画  
像フレーム上での座標値を並べた行列中の欠測値を高解  
像度で推定する方法が提供される。この欠測値推定方法  
は、該メモリ上の行列から欠測値を1つ選択する第1の  
ステップと、該第1のステップで選択された欠測値を推  
定するための、該メモリ上の行列の部分行列を作成する

第2のステップと、該第2ステップで作成された部分行  
列に対し、その欠測値として初期値を用い因子分解法を  
適用して欠測値の推定値を求め、求めた推定値を欠測値  
として用い因子分解法を再度適用して欠測値の推定値を  
修正する推定値を反復して行うことにより、欠測値に  
対する最終的な推定値を得る第3ステップと、該第3ス  
テップで推定された最終的な推定値を用いて該メモリ上  
の行列の対応する欠測値を補完する第4ステップとを含  
み、該第1のステップから該第4のステップまでの処理  
を該メモリ上の行列の全ての欠測値が推定値を用いて補  
完されるまで繰り返す構成である。

【0054】請求項2記載の本発明によれば、該第3ステ  
ップにおいて、該第2ステップで作成された部分行列  
の、欠測値を含む行又は列を除いた部分行列に因子分解  
法を適用することにより該初期値が求められる。

【0055】また請求項3記載の本発明によれば、デジタ  
ルビデオカメラなどによって物体を撮影した動画画像など  
から、対象物体の形状とカメラの運動を高解像度に復元す  
るためのデータを入力する三次元データ入力装置が提供  
される。この三次元データ入力装置は、一連の時系列画  
像を入力する第1手段と、該第1手段により入力された  
一連の時系列画像に対し複数の特徴点の追跡を行って、  
各特徴点の各画像フレーム上での座標値を並べた行列を  
生成する第2手段と、該第2手段により生成された行列  
を記憶する第3手段と、該第3手段に記憶されている行  
列から、その欠測値を推定するための部分行列を作成  
し、該部分行列に対し、その欠測値として初期値を用い  
因子分解法を適用して欠測値の推定値を求め、求めた推  
定値を欠測値として用い因子分解法を再度適用して欠測  
値の推定値を修正する推定値を反復して行い、最終的  
に得られた推定値を用いて該第3手段に記憶されている

行列の対応する欠測値を補完する第4手段と、該第4手  
段によって全ての欠測値が補完された後の行列を該第3  
手段より外部へ出力する第5手段とを具備する構成であ  
る。

【0056】請求項4記載の本発明によれば、該第4手段  
は、該第3手段に記憶されている行列から推定対象の欠  
測値を選択する第6手段と、該第6手段により選択され  
た欠測値を推定するための該行列の部分行列を作成する  
第7手段と、該第7手段により作成された部分行列の欠  
測値を含む行又は列を除いた部分行列に因子分解法を適  
用することにより欠測値に対する初期値を求める第8手  
段と、該第8手段により作成された部分行列に対し、そ  
の欠測値として該初期値を用い因子分解法を適用して欠  
測値の推定値を求め、求めた推定値を欠測値として用い  
因子分解法を再度適用して欠測値の推定値を修正する推  
定値を反復して行い、最終的に得られた推定値を用い  
て該第3手段に記憶されている行列の欠測値を補完する  
第9手段とからなる構成とされる。

【0057】

【発明の実施の形態】以下、本発明の欠測値推定方法及  
び三次元データ入力装置の実施形態として、デジタル  
ビデオカメラなどによって撮影された動画画像から因子分  
解法により物体の三次元形状とカメラの運動を高解像度  
に推定するために必要なデータを入力する三次元データ入  
力装置について説明する。なお、ここでは前述の露  
似中心射影モデルを仮定する。

【0058】図2は、この三次元データ入力装置システムの  
機能ブロック構成を示すブロック図である。図3は、こ  
の三次元データ入力装置システムの全体の処理の流れを示  
すフローチャートである。図4は、図3のフローチャー  
ト中の欠測値推定処理ブロックの処理内容を示すフロー  
チャートである。

【0059】図2において、100は動画画像のF枚の画  
像フレームを入力する画像入力部である。この画像入力  
部100は、例えば、物体の撮影に使用されたデジタル  
ビデオカメラそのものであったり、デジタルビデオカメ  
ラなどで予め撮影された動画画像のデータを格納している  
記憶媒体から動画画像データを読み込むものであったり  
あるいは、外部の機器から通信回線を通じて動画画像デー  
タを取り込むものである。101は、画像入力部100  
から入力された一連の画像フレームの全部、又は、少な  
くとも相前後した2枚の画像フレームを一時的に記憶す  
るためのフレームメモリである。102は、フレームメ  
モリ101内の画像フレームにわたって追跡し、前記(3)式  
のような $2F \times P \times P$ の行列Wをワークメモリ103上に生  
成する特徴点抽出・追跡部である。特徴点としては、例  
えば、物体のエッジや模様のような輪廓変化の激しい点  
が抽出される。このような特徴点の追跡（フレーム間で  
の特徴点の対応付け）は、例えば、相前後するフレーム

間でのブロックマッチングによって行われる。

【0060】前述のように特徴点の追跡、あるいは撮影  
時の照明の変動などによって、ある特徴点が、ある画像  
フレームでは抽出されない場合がある。そのような場  
合、特徴点抽出・追跡部102によってワークメモリ1  
03上に作成された行列Wにおいては、そのような特徴  
点の座標値が欠落している。この欠落している特徴点の  
座標値（欠測値）の推定を行う部分が欠測値推定部10  
5である。この欠測値推定部105は、ワークメモリ1  
03上の行列Wを参照して推定すべき欠測値を一つ選択  
する欠測値選択部106と、選択された欠測値の推定  
のための部分行列（後述）を行列Wから作成する部分行列  
作成部107、作成された部分行列から欠測値の初期値  
を設定する初期値設定部108と、設定された初期値か  
ら出発して反復推定計算によって推定値を逐次修正し、  
より高精度な欠測値の推定値を求め、この推定値を用い  
て行列Wの欠測値を補完する反復推定演算部109とか  
ら構成される。

【0061】ワークメモリ103上の行列Wの各欠測値  
は、欠測値推定部105によって順次推定され、推定値  
によって書き換えられ、最終的に全ての欠測値が補完さ  
れた行列Wがワークメモリ103上に生成される。この  
ようにして高精度な推定値を用いて欠測値が補完された  
行列Wが得られれば、前述の因子分解法を適用すること  
により、撮影された物体の三次元形状とカメラの運動を  
高精度に復元することが可能になる。104は、ワーク  
メモリ103に得られた欠測値のない行列Wを外部の記  
憶媒体や、因子分解法による処理のためのシステムへ出  
力する出力部である。

【0062】このような三次元データ入力装置システムにお  
ける処理内容について、図3及び図4のフローチャー  
トに示す処理の流れに沿って詳細に説明する。

【0063】画像入力部100によって動画画像を入力し  
て特徴点の抽出・追跡を行う（処理ブロック200、2  
01）。なお、フレームメモリ101に動画画像の例えば  
2フレームだけを、2フレーム単位で処理ブロック20  
0、201の処理が逐次に繰り返される。

【0064】このようにして、前記(3)式のような行  
列Wがワークメモリ103上に生成されると、欠測値推  
定部105によって行列W中の欠測値の推定が行われる  
（処理ブロック202、203）。具体的な処理を説明  
する前に、その基本的な考え方を説明する。

【0065】図5は、特徴点1～7のフレーム1～8の  
追跡結果の説明図である。「●」印は特徴点の追跡を成  
功し、その座標値が得られていることを示し、「?」印  
は特徴点の追跡に失敗しその座標値が欠測値となってい  
ることを示す。このような欠測値を含む行列Wはそのま  
までは因子分解法に利用できないため、欠測値を推定す  
る必要がある。欠測値の推定には、その特徴点の周りの  
特徴点の座標値を利用する。まず、推定対象の欠測値を  
1つ選択する。そして、選択した欠測値を含む、行列W  
の部分行列を作成する。この部分行列では、推定対象の  
要素以外の要素は全て既知である（座標値が得られてい  
る）ことが必要である。

【0066】例えば、図5において、特徴点6のフレ  
ーム5の欠測値を推定対象として選択したとする。この場  
合、例えば図5に示す太線枠の内部に対応した、行列W  
の部分行列を作成する。この部分行列に基づいて欠測値  
を推定し、行列Wの該当欠測値を推定値で置き換える。  
次に、例えば、図5中の特徴点6のフレーム6の欠測値  
を推定対象に選び、その推定のための部分行列を作成す  
る。例えば、特徴点1～6、フレーム1～6に対応する  
部分行列を作成し、その欠測値を推定し、行列Wの当該  
欠測値を推定値で置き換える。次に、例えば図5中の特  
徴点7のフレーム2の欠測値を推定対象に選択し、例え  
ば、特徴点1～7、フレーム2～8に対応する部分行列  
を作成し、当該欠測値を推定する。このようにして、欠  
測値を1つずつ順次選択して推定し、最終的に行列W中  
の全ての欠測値を推定する。

【0067】以下、この欠測値の推定処理について詳細  
に説明する。まず、欠測値推定部105の欠測値選択部  
106によって、前述のように、ワークメモリ103上  
の行列W中の欠測値を1つ選択する（ステップ20  
2）。そして、この欠測値に対する推定を行う（ステッ  
プ203）が、その詳細について図4のフローチャー  
トを参照して説明する。

【0068】まず、部分行列作成部107において、2  
つの整数 $m \geq 2$ 、 $n \geq 3$ をランダムに選び、ワークメモ  
リ103上の行列Wからm枚のフレームとn個の特徴点  
を選び、推定対象のフレームが $(u_{i0}, v_{i0})$ 、 $i = 1, \dots, n$ に、推定対象の特徴点が $(u_{i0}, v_{i0})$ 、 $i = 0, 1, \dots, n$ になるように、行と列を入れ替えることによ  
り、次式のような部分行列を作成する。

【0069】

【数15】

$$\tilde{W} = \begin{bmatrix} u_{00} & u_{01} & \dots & u_{0n} \\ u_{10} & u_{11} & \dots & u_{1n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ u_{m0} & u_{m1} & \dots & u_{mn} \\ x_{00} & v_{01} & \dots & v_{0n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{j0} & v_{j1} & \dots & v_{jn} \\ v_{m0} & v_{m1} & \dots & v_{mn} \end{bmatrix}$$

(15)

【0070】 $(u_{00}, v_{00})$  が推定対象の要素 (欠測

値) である。つまり、欠測値を

$$((u_{ij}, v_{ij}) : i=0,1,\dots,m; j=0,1,\dots,n) \quad \text{【数16】}$$

$$((1,1) \neq (0,0), (u_{ij}, v_{ij}) \text{ は既知})$$

【0072】から推定することを考えるわけである。

【0073】推定のための部分行列を作成すると、初期値設定部108によって、 $(u_{00}, v_{00})$  の初期値  $(u^{(0)}, v^{(0)})$  を決定する (ステップ301)。この設定方法については後述する。以下、反復推定演算部109において、この初期値から出発し反復推定演算処理によって最終的な推定値を求める。

【0074】まず、 $k$  を0に設定する (ステップ302)。次に、部分行列の  $(u_{00}, v_{00})$  を  $(u^{(k)}, v^{(k)})$  (反復演算処理の1回目では、ステップ301で設定された初期値) で置き換え、この部分行列を前記 (3) 式の行列  $W$  として使い因子分解法を適用することにより、特徴点の位置  $s_0$ 、フレーム0でのカメラの方向  $(i_0, j_0, k_0)$  と位置  $t_0$ 、カメラ中心1から反復画像平面3までの距離  $z_0$  を求める (図1参照)。

【0075】後述のように、 $(u^{(k)}, v^{(k)})$  の推定値  $\hat{u}^{(k)}, \hat{v}^{(k)}$  を求める (図1参照)。

$$(u^{(k+1)}, v^{(k+1)}) = (m_0 \cdot s_0 + t_0 + \Delta u, n_0 \cdot s_0 + t_0 + \Delta v) \quad \text{【数17】}$$

【0079】ここで、 $m_0, n_0, x_0, y_0$  は、前に求められた  $(i_0, j_0, k_0), t_0, z_0, s_0$  を用いて前記 (2) 式により計算される。

【0080】次に、推定値  $(u^{(k+1)}, v^{(k+1)})$  の収束★

$$\| (u^{(k+1)}, v^{(k+1)}) - (u^{(k)}, v^{(k)}) \| < \epsilon \quad \text{【数18】}$$

【0082】が成立するか調べる。ここで  $\epsilon$  は予め設定された収束判定パラメータである。

【0083】収束条件が成立しないときには、部分行列  $W$  の  $(u_{00}, v_{00})$  を、直前の推定値  $(u^{(k+1)}, v^{(k+1)})$  で置き換えてステップ303以下を繰り返す。その際、ステップ307は  $k$  を1だけインクリメントする。

【0084】ステップ306において、(18) 式の収束条件が成立した場合、あるいは、反復回数  $k$  が最大反復回数  $K$  に達した場合には、その段階の推定値  $(u^{(k+1)}, v^{(k+1)})$  を  $(u_{00}, v_{00})$  の推定値として確定

する (ステップ308)。この推定値を用いて、ワークメモリ103上の行列  $W$  の対応要素が書き換えられる

50 【0088】

$$\tilde{W}_{2 \times (n+1)} \times (n+1) \quad \text{【外4】}$$

【0089】から、推定対象の  $u_{00}, v_{00}$  を含む行を除いた部分行列

【0090】

【外5】

【0091】を作り、この部分行列を次のように分解する。

【0092】

【数19】

$$\tilde{W}_{2 \times (n+1)} - T [1 \dots 1] = M_{2 \times 3} S_{3 \times (n+1)} \quad \text{【数19】}$$

【0093】ここで、 $M_{2 \times 3}$  は  $m$  枚のフレームにおける  $10 \times (n+1)$  個の特徴点は次の方程式系を満たす。

カメラの姿勢を示す行列、 $S_{3 \times (n+1)}$  は  $(n+1)$  個の特徴点

の三次元座標を表す行列である。第0フレームにおける★

$$\begin{cases} u_{0p} = m_0 \cdot s_p + t_0 \\ v_{0p} = n_0 \cdot s_p + t_0 \end{cases} \quad p=0,1,\dots,n \quad \text{【数20】}$$

【0095】ただし、

【0096】

$$z_0 = \frac{1}{n+1} \sum_{p=0}^n u_{0p} \cdot v_{0p} = \frac{1}{n+1} \sum_{p=0}^n v_{0p} \quad \text{【数21】}$$

【0097】である。そして、(20) 式を最小二乗法

によって解き、求めた  $(u_{00}, v_{00})$  を初期値

未知数  $(u_{00}, v_{00})$ 、 $(m_0, n_0)$  があるの、これ

らの未知数を解くためには  $2(n+1) \geq 8$ 、すなわち、 $n$

$\geq 3$  でなければならない。したがって、既知特徴点は最

低3個必要である。しかし、ノイズなどの影響を考慮

し、既知特徴点の数を4以上に選ぶのが適当である。

【0098】次に、列拡張と呼ばれる方法について説明

する。(15) 式の欠測値推定のための部分行列

【0099】

【外6】

$$\tilde{W}_{2 \times (n+1)} \times n - T [1 \dots 1] = M_{2 \times (n+1)} \times 3 \times n \quad \text{【数22】}$$

【0104】ここで、 $M_{2 \times (n+1)}$  は  $(n+1)$  枚のフレーム

におけるカメラの姿勢を示す行列、 $S'_{3 \times n}$  は  $n$  個の特徴

点の三次元座標を表す行列である。 $(n+1)$  枚のフレーム★

【数23】

$$\begin{cases} u_{f0} = m_f' \cdot s_0 + t_f \\ v_{f0} = n_f' \cdot s_0 + t_f \end{cases} \quad f=0,1,\dots,n \quad \text{【数23】}$$

【0106】ただし、

【0107】

$$x_f = \frac{1}{n} \sum_{p=0}^n u_{fp} \cdot v_{fp} = \frac{1}{n} \sum_{p=1}^n v_{fp} \quad \text{【数24】}$$

【0108】である。そして、(23) 式を最小二乗法

によって解き、求めた  $(u_{00}, v_{00})$  を初期値

$(u^{(0)}, v^{(0)})$  とする。なお、(23) 式には5つの

未知数  $(u_{00}, v_{00}), s_0$  があるので、これらの未知

50 si & Kanade の推定方法である。この方法により求められ

数を解くためには  $2(n+1) \geq 5$ 、すなわち、 $m \geq 2$  でな

ければならない。

【0109】このような初期値の決定方法が前述の Tama

る初照値は、実際のカメラモデルである中心射影による投影によるものではなく、因子分解法で仮定する投影モデル（ここでは類似中心射影）により投影された位置であり、中心射影による投影位置からの誤差が大きくなる場合がある。

【0110】本発明では、このような初期値から出発して、推定誤差を定量的に評価しつつ推定値を修正する処理を反復する方法によって、特定の画像フレームにおいて遮蔽された特徴点の画像面での投影位置を、実際のカメラ

$$\begin{aligned} (\Delta u, \Delta v) = & \frac{1}{z_0} \sum_{i=1}^n \left[ -\frac{(k_f \cdot s_p)}{z_0} \right] (i_0 \cdot (s_0 - t_0), i_0 \cdot (s_0 - t_0)) \\ & + \frac{(k_0 \cdot s_p)}{z_0} (i_0 \cdot t_0, j_0 \cdot t_0) \end{aligned} \quad (25)$$

【0113】この(25)式によって推定誤差を評価することができる。

【0114】ここで、上記(25)式は、次のように書き直すことができる。フレーム0での二次元ローカル座標

$$(\Delta u, \Delta v) = \frac{1}{z_0} \sum_{i=1}^n \left[ -\frac{D}{z_0} \right] (u_i, v_i) + \frac{D}{z_0} (u_c, v_c) \quad (26)$$

【0116】となる。ただし、Dは推定される点 $s_0 \in R^3$ から仮想画像面3までのワールド座標系での符号付き距離であり、特徴点 $s_0$ が仮想画像面3に対して、カメラ中心1と同じ側にあるときに負、反対側にあるときに正の符号をとる（図1参照）。（ $u, v$ ）は、 $\Sigma_0$ ＝射影した投影点の座標を（ $U_{10}, V_{10}$ ）とすると（図1参照）。

（ $0; i_0, j_0$ ）での点 $s_0$ の画像面2へ正射影した投影点の座標である（図1参照）。（ $u_c, v_c$ ）は、 $\Sigma_0 = (0; i_0, j_0)$ での点 $s_0$ の特異点の集合の中心Cの画像面2へ正射影した投影点の座標である（図1★参照）。

$$U_{10} = \frac{i_f \cdot (s_0 - t_f)}{z_f}, \quad V_{10} = \frac{j_f \cdot (s_0 - t_f)}{z_f} \quad (27)$$

$$s_{f0} = k_f \cdot (s_0 - t_f) \quad (28)$$

【0119】ここで、簡単のために、前述のようにカメラの焦点距離1（エル）を1とする。

$$z_f = -t_f \cdot k_f \quad (29)$$

【0121】を定義すると、ワールド座標系の原点を物体の重心に採ったとき、 $z_i$ はカメラ中心1から仮想画像面3までの距離となる。（27）式を $z_i$ のまわりで

$$s_{i0} - t_f = k_f \cdot s_p \quad (30)$$

【0123】に注意すると、

$$[0124] \quad \dots$$

$$\begin{aligned} (U_{fp}, V_{fp}) = & \left[ \frac{i_f \cdot (k_f \cdot s_p)}{z_f} + \frac{(k_f \cdot s_p)^2}{z_f^2} + \frac{(k_f \cdot s_p)^3}{z_f^3} + \dots \right] \\ & \times (i_f \cdot (s_0 - t_f), j_f \cdot (s_0 - t_f)) \end{aligned} \quad (31)$$

$$= \frac{1}{z_f} \sum_{i=0}^{\infty} \left[ -\frac{(k_f \cdot s_p)}{z_f} \right]^i (i_f \cdot (s_0 - t_f), j_f \cdot (s_0 - t_f))$$

【0125】となる。したがって、

$$\begin{aligned} U_{fp} = & \frac{1}{z_f} \left[ i_f \cdot s_0 + \frac{i_f \cdot t_f}{z_f} (k_f \cdot s_p - (i_f \cdot t_f)) \right] \\ & + \frac{i_f \cdot (s_0 - t_f)}{z_f} \sum_{i=1}^{\infty} \left[ -\frac{(k_f \cdot s_p)}{z_f} \right]^i \frac{i_f \cdot t_f}{z_f} (k_f \cdot s_p) \\ V_{fp} = & \frac{1}{z_f} \left[ j_f \cdot s_0 + \frac{j_f \cdot t_f}{z_f} (k_f \cdot s_p - (j_f \cdot t_f)) \right] \\ & + \frac{j_f \cdot (s_0 - t_f)}{z_f} \sum_{i=1}^{\infty} \left[ -\frac{(k_f \cdot s_p)}{z_f} \right]^i \frac{j_f \cdot t_f}{z_f} (k_f \cdot s_p) \end{aligned} \quad (32)$$

【0127】となる。（31）式の右辺1項は類似中心射影の式と一致し、 $|s_p|/z_f$ と0としたとき、第2項以降が0に近似される。ワールド座標系の原点を30

物体の重心に採ったとき、 $z_{f0} - z_i = k_f \cdot s_0$ は、点pから仮想画像面3までの距離D、 $z_i$ はカメラ中心1から仮想画像面3までの距離、 $(i_f \cdot (s_0 - t_f), j_f \cdot (s_0 - t_f))$ は、フレームfの二次元ローカル座標系

$\Sigma_f = (0; i_f, j_f)$ での点 $s_0$ の正射影の座標、 $(i_f \cdot (-t_f), j_f \cdot (-t_f))$ は、 $\Sigma_f = (0; i_f, j_f)$ での点Cの正射影の座標である。

【0128】（25）式から、特に $|k_f \cdot s_0/z_0| > 1$ の場合には級数が発散するので、そのような場合には、ステップ304（図4）に関連して述べたように推定のための部分行列を構成し直す必要があるわけである。

【0129】図2乃至図4を参照して説明した処理は、専用のハードウェアによって実現することも可能であるが、例えば図6に略示するようなCPU400、メモリ401、ハードディスクなどの補助記憶装置402、フロッピーディスクなどの可搬記憶媒体404の組み付き

のためのドライブ403、外部の入力機器との入カインターフェイス405及び出力インターフェイス406な

とをシステムバス407によって接続したようなコンピュータ

【0130】

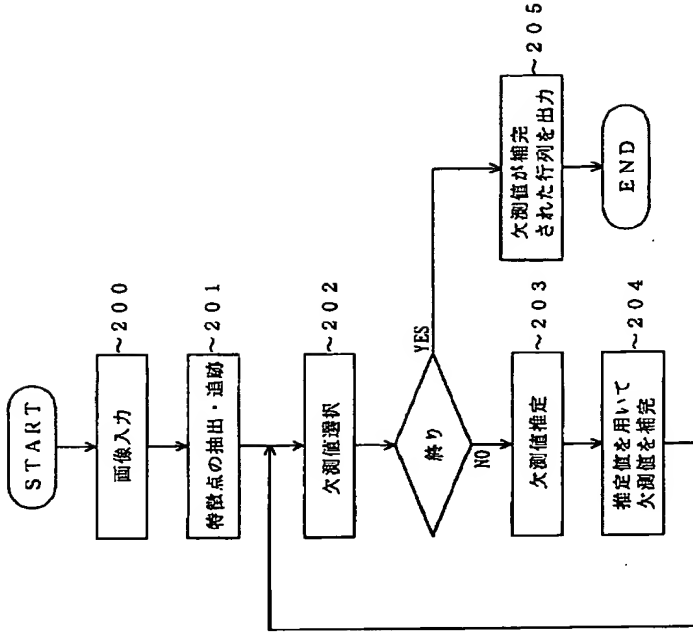
【角明の効果】以上の説明から明らかに、本発明によれば、一連の時系列画像に対し特徴点の追跡を行った結果として得られる、各特徴点の各画像フレーム上での座標値を並べた行列における欠測値を高程度に

ュータを用い、ソフトウェアによって実現することも可能である。この場合、図3及び図4に示す処理を実行させるためのプログラム410はメモリ401上に置かれてCPU400によって実行される。このプログラム410は、例えば、それが記録されたフロッピーディスクなどの可搬記憶媒体404からドライブ403を介してメモリ401にロードされ、あるいは補助記憶装置402に一旦格納され処理実行時にメモリ401にロードされる。処理対象の時系列画像は、例えば、デジタルビデオカメラなどの画像入力機器から入カインターフェイス405を介してメモリ401に書き込まれ、又は補助記憶装置402に一旦格納され処理実行時にメモリ401に読み込まれる。特徴点抽出・追跡によって作成される行列はメモリ401上に置かれる。欠測値が補完された行列は、例えば、メモリ401から出力インターフェイス406を介して外部の機器もしくは処理システムへ出力される。

【0130】

【角明の効果】以上の説明から明らかに、本発明によれば、一連の時系列画像に対し特徴点の追跡を行った結果として得られる、各特徴点の各画像フレーム上での座標値を並べた行列における欠測値を高程度に

【図3】



推定することが可能である。特徴点の追跡が起きるような条件で撮影された時系列画像についても、高精度な推定値を用いて欠測値を補完した行列を入力することが可能であり、したがって、その行列を用いて因子分解法を適用することにより、対象物体の三次元形状とカメラ運動の高精度な復元が可能になる、等々の効果を得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 擬似中心射影モデルの説明図である。

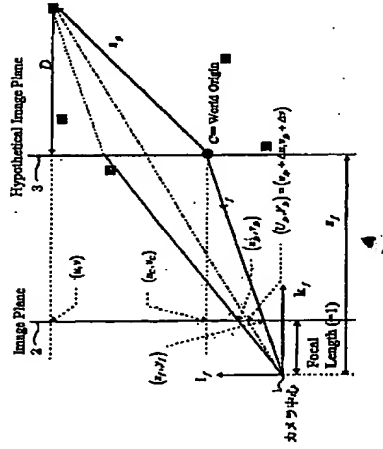
【図2】 本発明による三次元データ入力システムのブロック図である。

【図3】 三次元データ入力システムの全体的処理フローを示すフローチャートである。

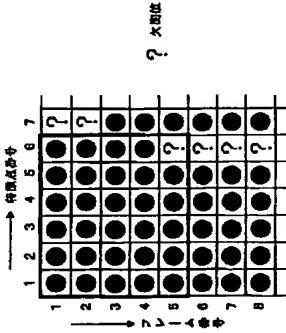
【図4】 欠測値推定処理のフローチャートである。

【図5】 欠測値の推定方法の説明のための図である。

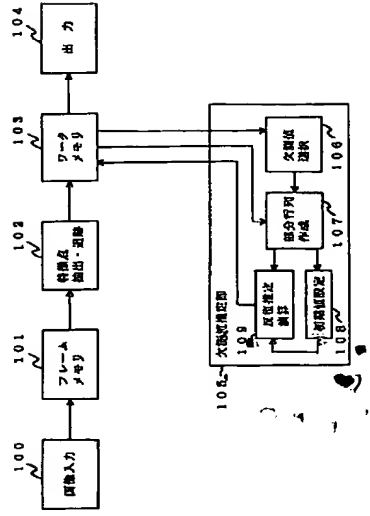
【図1】



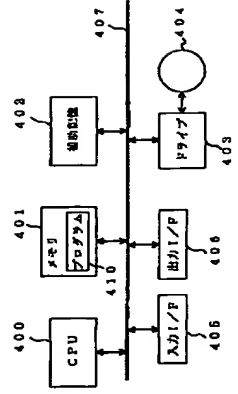
【図5】



【図2】



【図6】



【図4】

